

SISTEM PENGUKURAN KEKASARAN PERMUKAAN DINDING SUMUR BETON MENGGUNAKAN ULTRASONIC RANGING DENGAN MEDIA PENYIMPANAN DATA LOGGER

Vifaldi Agti dan Suryono

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
E-mail: vifaldiagi@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Research of the application of ultrasonics wave for measurements of level of surface roughness of wall of the well concrete have been done. This purpose of research is create sensor system and data acquisition ultrasonic ranging for measure surface roughness of wall of the well and create data logger system which can store measurement results. This method included in non destructive test because It's used of secure wave spectrum region and nocontact measurement system. In this research, ultrasonic pulse generator using microcontroller ATSAM3X8E and the ultrasonic transducer is work on frequency of 40kHz. The transducer emits ultrasonic pulses to the object via the transmitter and receive back the wave reflection on the receiver. ultrasonic waves are transmitted through air media experience attenuation and reflected towards the object until received by the receiver. The object used as the measurement of roughness is wall of the well concrete, reasons for choosing this object is to minimize attenuation, thus increasing the reflection of ultrasonic waves. In the method of time-of-flight measurement is done by rotating transducer for scanning object using the DC motor. The measurement results is stored in a data logger using the SD Card. To get the surface roughness profile, the distance data obtained is calculated using standard deviation equation. Then obtained a deviation of the roughness profile, the lowest value is 0.255 cm, the highest score is 0.730 cm, and the average value is 0,495 cm.

Key word: *ultrasonic, time-of-flight, data logger, surface roughness*

ABSTRAK

Penelitian ini mengaplikasikan gelombang ultrasonik untuk mengukur profil kekasaran permukaan dinding sumur beton. Tujuan penelitian ini membuat sistem sensor dan akuisisi data ultrasonik ranging untuk pengukuran kekasaran permukaan dinding sumur beton dan membuat sistem data logger yang dapat menyimpan hasil pengukuran. Metode ini merupakan sistem uji tak merusak bahan karena tingkat radiasi gelombang yang aman dan tidak perlu menyentuh obyek yang diukur. Pada penelitian ini dibuat pembangkit pulsa ultrasonik dengan menggunakan mikrokontroler ATSAM3X8E dan transduser ultrasonik dengan frekuensi 40kHz. Transduser membangkitkan gelombang ultrasonik ke objek melalui transmitter dan menerima kembali pantulan gelombang pada receiver. Gelombang ultrasonik yang dipancarkan melalui media udara mengalami atenuasi dan pemantulan terhadap objek hingga diterima oleh penerima. Objek yang digunakan sebagai pengukuran kekasaran adalah dinding sumur beton, alasan dipilihnya objek ini adalah untuk memperkecil atenuasi sehingga memperbesar pantulan gelombang ultrasonik. Pada metode time-of-flight ini, pengukuran dilakukan dengan memayir transduser yang diputar menggunakan motor DC. Hasil pengukuran disimpan dalam data logger menggunakan SD Card. Untuk mendapatkan profil kekasaran permukaan yang diukur, dari data jarak yang didapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan standar deviasi. Kemudian didapatkan penyimpangan dari profil kekasaran dengan nilai terendah yaitu 0,255 cm nilai tertinggi 0,730 cm, dan nilai rata-rata sebesar 0,495 cm.

Kata kunci: *ultrasonik, time-of-flight, data logger, kekasaran permukaan*

PENDAHULUAN

Kekasaran permukaan merupakan parameter penting dalam mengevaluasi kualitas bahan, karena secara langsung mempengaruhi sifat tribological dan optik bahan. Estimasi kuantitatif dari kekasaran permukaan dapat diperoleh dengan berbagai teknik seperti secara manual mekanik maupun optika [1]. Walaupun

metode manual mekanik telah teruji penerapannya dalam menentukan kekasaran permukaan, namun metode optik juga memiliki kemampuan yang tidak kalah, yaitu dengan mengukur kekasaran permukaan tanpa melakukan kontak dengan objek yang diukur. Metode optik dianggap sebagai metode yang paling baik karena dalam melakukan

pengukuran kekasaran permukaan dengan cepat [2].

Meskipun dua jenis metode, stylus profiling dan optical scattering, secara umum telah digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan suatu material, kedua metode tersebut tidak sesuai untuk aplikasi praktis [3]. Sebagai contoh, metode stylus, akibat adanya kontak langsung pada pengukuran, dapat merusak permukaan material yang halus dan rapuh. Di sisi lain, metode optik dapat memberikan hasil dari pengukuran tanpa adanya kontak antara alat ukur dan objek yang diukur, berdasarkan iradiasi sinar, metode ini memiliki batas atas kisaran terukur dari parameter kekasaran, yaitu kurang dari 1 mm karena panjang gelombang yang lebih pendek dari panjang gelombang cahaya [4]. Oleh karena itu, dibutuhkan teknik non-kontak alternatif untuk mengukur kisaran yang relatif besar terhadap kekasaran permukaan. Penggunaan gelombang akustik yang pada umumnya memiliki panjang gelombang jauh lebih besar dari elektromagnetik untuk mengukur kekasaran permukaan yang sejauh ini telah mendapat banyak perhatian [5].

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi diatas 20kHz. Pada masa sekarang banyak sekali penerapan aplikasi dari gelombang ultrasonik, diantaranya dalam bidang kelautan (Sonar), kedokteran (USG), bidang industri dan bidang keteknikan (NDT). Pengukuran parameter fisis gelombang ultrasonik dapat dilakukan tanpa merusak obyek dan memberikan manfaat yang besar pada kehidupan sehari-hari. Pada masa sekarang, metode pengukuran tersebut dikenal dengan istilah NDT (Non-Destructive Test) dan NDE (Non-Destructive Evaluation) (Krautkramer, 1990). Pengukuran jarak menggunakan sensor ultrasonik memiliki performansi yang sangat baik dimana sensor tersebut mampu mengukur dengan respon waktu yang sangat cepat, probabilitas tinggi dan dimensi kecil. Sensor ini tidak memerlukan pencatatan daya di lapangan yang besar. Oleh karena itu pembuatan sensor jarak menggunakan gelombang ultrasonik sangat strategis untuk

digunakan. Gelombang ultrasonik telah dikembangkan untuk pengukuran kekasaran permukaan benda [6].

Pada alat pengukur kekasaran permukaan diperlukan media penyimpanan data didalamnya, guna mempermudah dalam memperoleh data yang didapat karena kondisi alat pada penelitian yang sulit dijangkau dengan menggunakan kabel dan untuk kemudian dapat diolah oleh komputer. Hal tersebut mendasari penelitian ini agar dapat dirancang sistem data logger pengukuran kekasaran permukaan supaya ada media penyimpanan data di dalamnya guna pengolahan data.

DASAR TEORI

Gelombang Ultrasonik

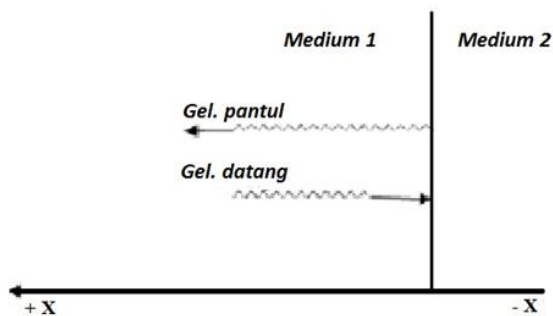
Gelombang merupakan osilasi yang merambat pada suatu medium tanpa diikuti perambatan bagian-bagian medium itu sendiri. Ketika gelombang ultrasonik (akustik) berpindah dari satu medium ke medium lainnya dimana pada dua medium tersebut kecepatan gelombang berbeda maka yang terjadi adalah; sebagian gelombang dipantulkan, sebagian gelombang dibiaskan (diteruskan) ke medium berikutnya, dan intensitas gelombang yang dipantulkan dan dibiaskan bergantung pada lagu gelombang pada dua medium [7].

Karena sifat gelombang ultrasonik yang dapat dipantulkan jika mengenai suatu objek, maka banyak aplikasi gelombang ultrasonik digunakan dalam pengukuran jarak. Gelombang ultrasonik mampu menentukan lokasi benda-benda kecil atau mengidentifikasi secara detail suatu benda berdasarkan pantulan gelombangnya [8].

Refleksi

Pada ultrasonik citra yang dihasilkan melalui berkas suara yang direfleksikan. Berkas gelombang yang dipancarkan tidak memperbesar apapun pada formasi citra, tapi transmisi cukup kuat menghasilkan gema-

gema ditingkat yang lebih dalam. Prosentase suara yang direfleksikan di antara muka jaringan tergantung pada impedansi. Berkas ultrasonik yang dipantulkan ditentukan oleh sudut yang terjadi antara berkas suara dan permukaan yang merefleksikan. Semakin tinggi sudut yang timbul (lebih dekat tegak lurus) maka semakin kecil suara yang dipantulkan.



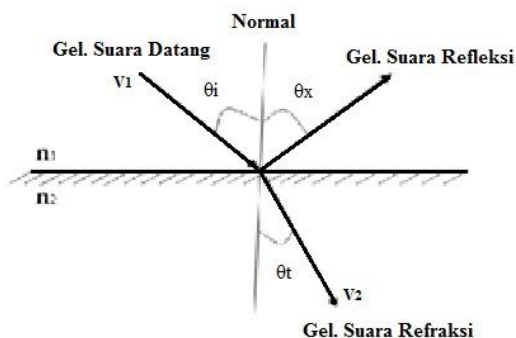
Gambar 1. Refleksi gelombang dari pembatas [9]

Refraksi

Bila gelombang suara melewati suatu medium ke medium lain maka frekuensi tetap tetapi panjang gelombang yang berubah dan arah gelombang yang berbelok, hal ini disebut pembiasan. Peristiwa ini oleh hukum Snellius dinyatakan:

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{v_1}{v_2} \quad (1)$$

Dengan v_1 adalah kecepatan gelombang suara pada medium 1, v_2 adalah kecepatan gelombang suara pada medium 2. Proses pemantulan (refleksi) dan pembiasan (refraksi) ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Proses refleksi dan refraksi [10]

Dengan θ_i adalah sudut gelombang suara datang, θ_x adalah sudut gelombang suara refleksi, θ_t adalah sudut gelombang suara refraksi. Syarat persamaan tersebut, n_2 lebih rapat dari n_1 maka $\theta_t < \theta_i$. Jika n_2 lebih renggang dari n_1 maka $\theta_t > \theta_i$.

Atenuasi

Atenuasi adalah pengurangan intensitas berkas ultrasonik karena melalui suatu medium [11]. Proses terjadinya atenuasi dipengaruhi oleh dua macam faktor yaitu :

a) Hamburan

Bila suatu energi gelombang ultrasonik menabrak dimensi-dimensi permukaan yang lebih kecil dari panjang gelombang maka gelombang datang tersebar ke segala arah [11]. Hamburan ini tergantung pada perubahan impedansi akustik pada sasaran atau partikel, ukuran partikel dari medium dan panjang gelombang energi datang. Intensitas gelombang yang terhambur meningkat dengan cepat bersama frekuensi dan sebanding dengan kuadrat frekuensi, oleh karena itu frekuensi tinggi terhambur dengan lebih mudah dari pada frekuensi rendah.

b) Penyerapan (Absorpsi)

Absorpsi ultrasonik dalam cairan merupakan hasil dari gaya gesekan yang berlawanan dengan gerakan partikel-partikel dalam media. Energi mekanik yang dipindah dari suara ultrasonik menjadi panas. Selama mengalami absorpsi gelombang ultrasonik, intensitas dengan amplitudonya berkurang secara eksponensial.

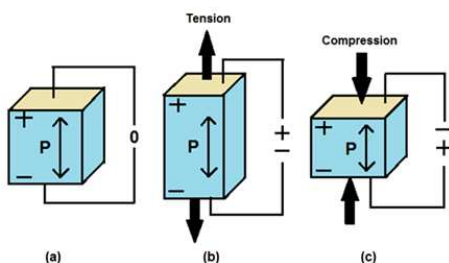
Transduser Ultrasonik

Pada sistem elektronik, gelombang ultrasonik dapat dibangkitkan melalui kristal tipis yang bersifat piezoelektrik terbuat dari bahan alami kuarsa, garam rochelle, tourmaline atau bahan piezoelektrik buatan, misalnya: Barium Titanate, Lead Circonate-titanate, Lead Metaniobate. Bahan tersebut bersifat seperti kapasitor dengan konstanta

dielektrik tertentu yang memiliki perbedaan muatan listrik dalam lapisannya. Penggunaan gaya perubahan bentuk atau tegangan pada kristal asimetris menciptakan suatu tegangan listrik, fenomena ini disebut dengan efek piezoelektrik. Ketika transduser piezoelektrik berfungsi sebagai pemancar (transmitter) mengubah energi listrik menjadi energi mekanis (efek piezoelektrik terbalik), dan bila sebagai penerima (receiver) maka akan mengubah energi mekanis menjadi energi listrik (efek piezoelektrik). Untuk membangkitkan gelombang ultrasonik, bahan tersebut digetarkan oleh rangkaian osilator [12].

Sebuah sensor sering didefinisikan sebagai sebuah alat yang menerima dan merespon pada sebuah sinyal atau stimulus [13]. Dalam kaitannya dengan sistem elektronik, sensor pada dasarnya dapat dipandang sebagai sebuah perangkat atau device yang berfungsi mendeteksi suatu bentuk gejala-gejala fisis yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi kimia, energi fisika, energi biologi, energi mekanik, dan sebagainya, sehingga keluarannya dapat diolah dengan rangkaian listrik atau sistem digital [14].

Sensor ultrasonik adalah sensor yang bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara dan digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek tertentu di depannya, frekuensi kerjanya pada daerah di atas gelombang suara dari 40 KHz hingga 400 KHz.



Gambar 3. Prinsip kerja efek piezoelektrik [15]

Besar amplitudo sinyal elektrik yang dihasilkan sensor penerima tergantung dari jauh dekatnya objek yang dideteksi serta kualitas dari sensor pemancar dan sensor

penerima. Proses sensing yang dilakukan pada sensor ini menggunakan metode pantulan untuk menghitung jarak antara sensor dengan obyek sasaran. Jarak antara sensor tersebut dihitung dengan cara mengalikan setengah waktu yang digunakan oleh sinyal ultrasonik dalam perjalanannya dari rangkaian pengirim sampai diterima oleh rangkaian penerima. Perhatikan persamaan 2.7 berikut :

$$S = 0,5.v.t \quad (2)$$

dengan kecepatan rambat dari sinyal ultrasonik tersebut pada media rambat yang digunakannya, yaitu udara. Pantulan gelombang ultrasonik tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengukur jarak antara sensor (s) dan benda yang secara ideal dapat dihitung dengan mengkalikan setengah kali kecepatan rambat suara (v) dengan waktu tempuh (t).

Mikrokontroler

Mikrokontroler dapat dianalogikan dengan sebuah sistem komputer yang dikemas dalam sebuah chip. Artinya bahwa di dalam sebuah IC Mikrokontroler sebetulnya sudah terdapat kebutuhan minimal agar mikroprosesor dapat bekerja, yaitu meliputi mikroprosesor, ROM, RAM, I/O dan clock seperti halnya yang dimiliki oleh sebuah PC (Personal Computer) [16].

Mikrokontroler ATSAM3X8E memiliki fasilitas analog to digital converter yang sudah built-in dalam chip. Fitur ADC internal ini juga yang menjadi salah satu dari sekian banyak kelebihan mikrokontroler ATSAM3X8E bila dibandingkan dengan beberapa jenis mikrokontroler yang lain. Dengan adanya ADC internal ini kita tidak direpotkan lagi dengan kompleksitas hardware saat membutuhkan proses pengubahan sinyal dari analog ke digital seperti yang harus dilakukan jika kita memakai IC ADC eksternal [16]. ADC yang dimiliki ATSAM3X8E mempunyai 12 buah saluran masukan analog yang termultipleks, serta mempunyai resolusi ADC and PWM 12

bit. Artinya bahwa tegangan analog antara 0 dan 5 V dikodekan menjadi salah satu dari 4096 representasi biner.

Data Logger

Perekam data (data logger) adalah suatu alat elektronik yang berfungsi mencatat data dari waktu ke waktu secara continue [17]. Beberapa data logger menggunakan personal komputer dan software sebagai tempat menyimpan data dan menganalisis data. Beberapa data logger diantarmukakan dengan komputer dan menggunakan software untuk mengaktifkan data logger melihat dan menganalisis data yang terkumpul, sementara yang lain memiliki peralatan antarmuka sendiri (keypad dan LCD) dan dapat digunakan sebagai perangkat yang berdiri sendiri (stand-alone device) [17].

METODE PENELITIAN

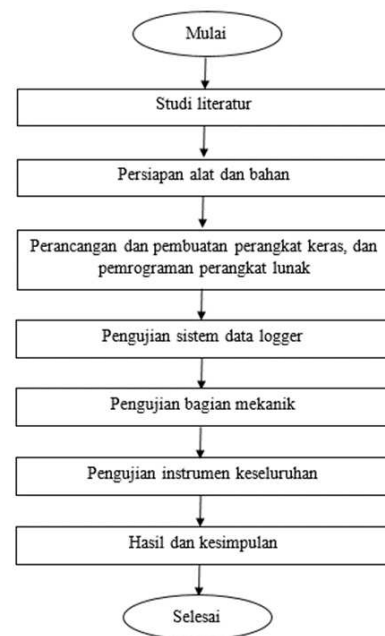
Penelitian dilaksanakan selama 6 bulan dari Maret 2016 sampai dengan Agustus 2016 di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Departemen Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro Semarang.

Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan pengembangan studi literatur (studi pustaka) sebagai tahap awal, kemudian dilanjutkan dengan 4 tahap berikutnya. Tahap kedua yang dilakukan yaitu melakukan perancangan pada sistem alat yang terbagi menjadi dua bagian. Pertama mendesain perangkat keras yang terdiri dari berbagai peralatan dan bahan pendukung antara lain transduser ultrasonik, mikrokontroler, motor DC, dan SD Card sebagai media penyimpanan. Kedua membuat bahasa pemrograman perangkat lunak sebagai prosedur pembacaan mikrokontroler dan sistem komunikasi data logger.

Tahap ketiga yaitu melakukan uji coba sistem pembangkit ultrasonik untuk pembacaan ADC dari transduser ultrasonik dan dilanjutkan pengujian sistem komunikasi data logger. Tahap ke empat adalah mengkonversi nilai ToF dari

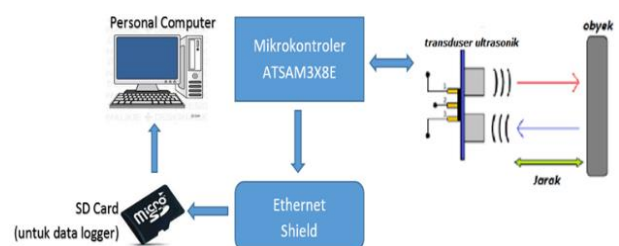
nilai tegangan yang dihasilkan transduser ultrasonik, sekaligus pengujian sistem secara keseluruhan. Tahap kelima yaitu menganalisa hasil dan kesimpulan dari variabel penelitian yang didapat guna dimasukkan ke dalam laporan. Prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan dengan diagram Gambar 4.



Gambar 4. Diagram urutan penelitian

Diagram Sistem Instrumen

Desain sistem instrumen yang dibuat ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram sistem pembangkit pulsa ultrasonik

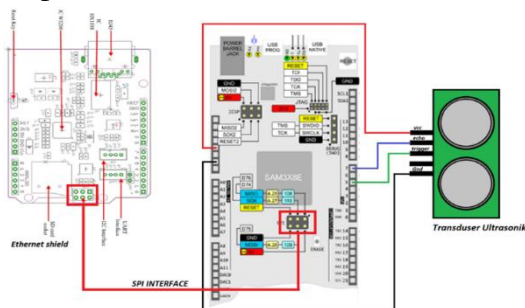
Bagian yang direalisasikan tersebut dijelaskan sebagai berikut :

- Personal komputer digunakan untuk memprogram mikrokontroler dengan

bahasa C. Kemudian mikrokontroler memberikan sinyal pulsa kepada modul ultrasonik untuk melepaskan gelombang ultrasonik. Modul ultrasonik merupakan pemancar dan penerima gelombang ultrasonik. Mikrokontroler memberikan trigger untuk mengaktifkan modul ultrasonik. Apabila terdapat objek di sekitarnya dalam waktu tertentu, gelombang ultrasonik dipantulkan kembali dan transduser ultrasonik menerima pantulan gelombang tersebut. Selanjutnya modul ultrasonik mengirim sinyal kembali ke mikrokontroler. Mikrokontroler memproses data dan menghasilkan tegangan output. Waktu yang dibutuhkan sensor ultrasonik dari pengirim gelombang sampai penerimaan pantulan gelombang ultrasonik, dapat menentukan jarak antar sensor dan objek sumur dengan menggunakan rumus Time-of-flight (ToF).

- b) Setelah mikrokontroler mendapatkan data hasil pembacaan jarak dan kekasaran permukaan objek, mikrokontroler mengirimkan data ke SD Card dengan standar komunikasi SPI interface. Data tersebut kemudian diterjemahkan kembali oleh personal komputer. Agar didapat profil permukaan objek, maka dilakukan pengolahan data.

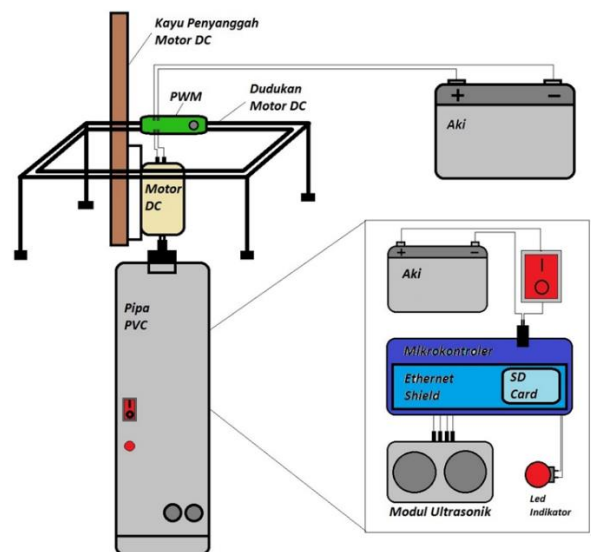
Berikut ini rangkaian skematik dari modul sensor jarak ultrasonik SRF05 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian skematik modul transducer ultrasonik

Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan pada sumur beton di wilayah kampus FSM. Kemudian rancang bangun sistem

pengukuran kekasaran permukaan beton dengan menggunakan data logger ini dimulai dengan mendesain sistem tersebut menjadi beberapa bagian. Pada bagian alat pengambil data terdiri dari dudukan sebagai penyanggah motor DC dan pipa pvc sebagai wadah peletakan alat perangkat seperti mikrokontroler ATSAM3X8E dan sensor ultrasonik SRF05, dan aki sebagai catu daya serta besi pengait dengan motor gearbox. Bagian tersebut dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Desain sistem alat pengukuran kekasaran permukaan

Analisa Hasil

Untuk menentukan parameter kekasaran permukaan dalam penelitian ini, digunakan persamaan standar deviasi (R_a). Perumusan standar deviasi dijelaskan pada persamaan 2.

$$R_a = \frac{(\sum_{i=1}^n |y_i|)}{n} \quad (3)$$

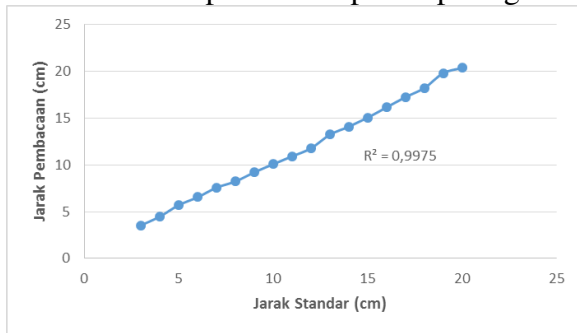
Dengan y_i merupakan nilai penyimpangan dari hasil pengukuran dan n adalah jumlah dari data sampling. Persamaan ini merupakan metode yang paling banyak digunakan oleh para peneliti dan industri dalam menentukan

parameter kekasaran permukaan. Standar deviasi merupakan rata-rata aritmatik dari nilai absolut pada penyimpangan tingkat kekasaran permukaan dari hasil pengukuran [18].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Sensor dan Sistem Akuisisi

Pada pengolahan data dilakukan akuisisi data dengan membandingkan nilai keluaran pada antarmuka komputer terhadap nilai yang terbaca pada alat ukur standar. Hasil perbandingan setiap perubahan jarak terhadap pengukuran pada antarmuka komputer ditampilkan pada gambar 8.



Gambar 9. Grafik kalibrasi modul ultrasonik

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa nilai $R^2 = 0,9975$, sehingga nilai $R = (\text{akar dari } R^2)$ yang berarti bahwa tingkat keakuratan sebesar 99,87%. Dari nilai tersebut terlihat bahwa sistem sangat baik, karena mendekati 100% (sempurna).

Pengujian Pewaktu Akuisisi Data Mikrokontroler

Pada pengujian selanjutnya yaitu dilakukan percobaan guna mengetahui pewaktu akuisisi yang dimiliki oleh mikrokontroler ATSAM3X8E. Pengujian dilakukan sebagai koreksi dengan membandingkan data iterasi yang didapat oleh mikrokontroler dari transduser ultrasonik terhadap alat pengukur waktu stopwatch. Hasil perbandingan setiap iterasi yang dilakukan ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Data perbandingan pewaktu akuisisi mikrokontroler

Waktu Akuisisi (s)	Iterasi
60	59
120	118
180	179
240	233
300	291
360	349
420	408
480	466
540	524
600	583

Dari tabel 1 diolah sehingga diperoleh data nilai pewaktu akuisisi mikrokontroler dengan membagi hasil hitungan detik stopwatch dengan hasil tiap iterasi. Kemudian hasil pembagian tadi dihitung rata-ratanya maka didapat nilai pewaktu akuisisi mikrokontroler adalah 1,025 detik.

Hasil Pengolahan Data Kekasaran Permukaan

Tabel 2. Data kekasaran permukaan beserta hasil pengukuran simpangan dari rata-rata

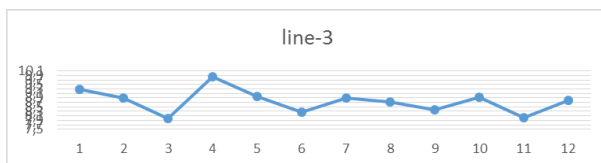
No. Urut Data	line-1 (cm)	line-2 (cm)	line-3 (cm)	line-4 (cm)	line-5 (cm)	line-6 (cm)	line-7 (cm)	line-8 (cm)	line-9 (cm)	line-10 (cm)
1	7,87	9,87	9,28	9,88	7,88	8,08	7,87	9,88	9,80	8,29
2	8,22	8,88	8,86	9,88	9,28	9,88	8,83	8,88	8,28	9,78
3	8,88	7,80	7,94	8,89	9,88	8,78	9,88	8,78	7,07	8,88
4	8,28	9,89	9,83	7,83	9,80	9,97	8,88	8,83	8,78	7,81
5	8,89	8,90	8,98	7,33	7,88	8,87	8,82	8,87	8,00	8,00
6	7,88	9,09	8,28	8,80	8,78	8,83	9,07	7,78	8,21	9,00
7	8,18	7,00	8,85	8,03	8,98	7,93	8,21	8,80	8,88	8,22
8	7,88	9,83	8,71	8,88	8,80	9,28	8,68	7,87	8,38	8,83
9	8,82	9,09	8,38	7,33	8,81	8,22	7,72	9,09	8,80	9,88
10	8,07	9,38	8,93	8,89	8,19	9,80	9,98	8,28	7,82	8,00
11	9,78	8,98	8,02	9,31	8,08	9,80	9,98	8,98	7,91	8,79
12	8,28	7,98	8,80	8,21	9,89	7,38	8,28	9,83	8,83	8,82

Berdasarkan tabel 2 tersebut, pada line 1 merupakan hasil pengukuran permukaan sumur pada baris pertama dan begitu pula selanjutnya. Pada masing-masing line dihitung rata-rata dan hasilnya kemudian diolah menggunakan rumus standar deviasi (Ra) seperti pada persamaan 3.1. Hasil dari perhitungan menggunakan rumus didapatkan hasil profil kekasaran permukaan pada tiap line yang ditunjukkan pada tabel 3.

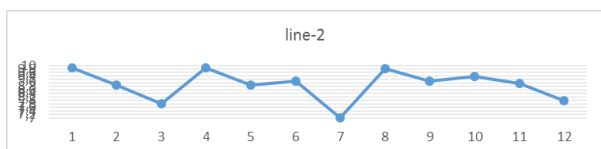
Tabel 3. Nilai kekasaran permukaan sumur pada masing-masing line

Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5	Line 6	Line 7	Line 8	Line 9	Line 10
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0,299	0,730	0,255	0,697	0,514	0,682	0,553	0,377	0,436	0,408

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui nilai profil kekasaran permukaan dinding sumur untuk masing-masing line. Kemudian didapatkan bahwa line 3 merupakan baris yang memiliki nilai profil kekasaran paling rendah, sedangkan line 2 merupakan baris yang memiliki nilai profil kekasaran paling tinggi yaitu 0,255 cm dan 0,730 cm. Nilai rata-rata dari profil kekasaran seluruh line adalah 0,495 cm. Berikut merupakan grafik profil kekasaran permukaan dinding sumur ditunjukkan pada gambar 10 dan gambar 11.



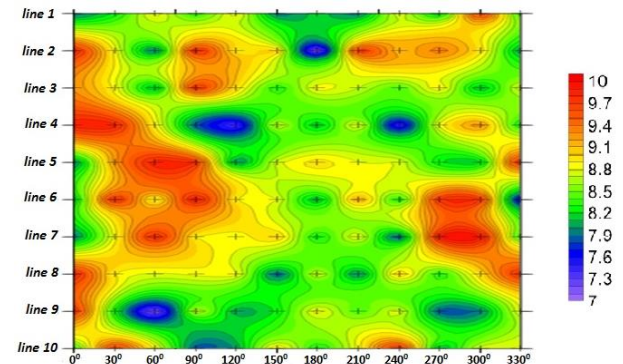
Gambar 10. Grafik profil kekasaran permukaan dinding sumur pada line 3



Gambar 11. Grafik profil kekasaran permukaan dinding sumur pada line 2

Data dari masing-masing line kemudian diilustrasikan kembali dalam peta persebaran nilai kekasaran permukaan dinding sumur

berdasarkan warna. Peta persebaran nilai tadi ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Peta persebaran nilai kekasaran permukaan dinding sumur berdasarkan warna

Sumbu x pada gambar di atas menunjukkan jarak antara titik dan direpresentasikan dengan derajat, kemudian sumbu y merupakan jarak antar line pada setiap pengambilan data. Pada grafik di atas perbedaan warna yang terdapat pada gambar mewakili sebaran nilai dalam satuan cm.

KESIMPULAN

Hasil-hasil dari penelitian yang telah dilakukan, memberi kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode ultrasonic ranging telah dapat digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan dinding sumur beton yang didasarkan pada waktu yang diukur dari pelepasan sinyal pulsa gelombang dan diukur kembali sinyal pulsa yang dipantulkan.
2. Telah dibuat sistem data logger yang dapat merekam hasil pengukuran tingkat kekasaran permukaan dinding sumur beton ke dalam SD Card, dari hasil kalibrasi instrumen yang dibuat diperoleh koefisien korelasi linier dengan alat ukur jarak standar sebesar 99,87%.

3. Hasil pengukuran kekasaran permukaan dinding sumur beton yang dilakukan pada 10 line memiliki nilai kekasaran terendah sebesar 0,255 cm tertinggi 0,730 cm dan rata-rata sebesar 0,495 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tao, Q., Lee, H.P., Lim, S.P., Contact mechanics of surfaces with various models of roughness description, *Wear* 249 (2001) 539-545.
- [2] Bennet, J.M., Recent developments in surface roughness characterization, *Measurement Science Technology* 3 (1992) 1119-1127.
- [3] Li, C., Kattawar, G.W., Yang, P., Effect of surface roughness on light scattering by small particles, *J. Quantitative Spectroscopy and Rad. Transfer* 89 (2004) 123-131.
- [4] Vorburger, T.V., Marx, E., Lettieri, T.R., regime of surface roughness measurable with lightscattering, *Applied Optic.* 32 (1993) 3401-3408.
- [5] Ogilvy, J.A., Theory of scattering from random rough surfaces, *IOP, Bristol* 32 (1991).
- [6] Suryono, S., Kusminarto, K., and Suparta, G.B., 2010, Estimation of Solid Material Surface Roughness Using Time-of-Flight Ultrasound Immerse Transducer, *Journal of Materials Science and Engineering* August (2010), Volume 4 No.8 (Serial No.33), USA.
- [7] Abdullah, M., 2006. Diktat Kuliah Fisika Dasar II Tahap Persiapan Bersama ITB. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [8] Tipler, A.P., 1991. Fisika untuk Sains dan Teknik, terjemahan Prasetyo dan Rahmad Jilid 2, Edisi Ketiga. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [9] Aston, R., 1990, Principles of Biomedical Instrumentation and Measurement, Merrill, an imprint of Macmillan Publishing Company, New York.
- [10] Curry, T.S., 1984, Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology, Third Edition Lea & Febiger, Philadelphia USA.
- [11] Hagen-Ansert, S.L., 1978, Text Book of Diagnostic Ultrasonography, The CV.Mosby Company, St Louis, Miosari.
- [12] Syafrudin, A., Suryono, S., dan Suseno, J.E., 2008. Rancang Bangun Generator Pulsa Gelombang Ultrasonik dan Implementasinya untuk Pengukuran Jarak Antara Dua Obyek. *Jurnal berkala fisika* Vol 11., No.2, April 2008, hal 29-37.
- [13] Fraden, J., 1996, Handbook of Modern Sensors : Physics Designs, and Applications, Thermoscan, Inc, California.
- [14] Setiawan, I., 2009, Buku Ajar Sensor dan Transduser, Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- [15] Vatansever, D., Siores, E., and Shah, T., Alternative Resources for Renewable Energy: Piezoelectric Smart Structures, Intech (2012). University of Bolton, Institute for Materials Research and Innovation, United Kingdom.
- [16] Bejo, A., 2008, C & AVR, Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam Mikrokontroler ATmega8535, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [17] Yulianto, A., 2011, Data logger Bagian-2, <http://sonoku.com/data-logger-bagian-2/> , diakses pada 27 Maret 2016.
- [18] Kumar, R., Kulashekar, P., Dhanasekar, B., and Ramamoorthy, B., Application of digital image magnification for surface roughness evaluation using machine vision, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 45 (2005) 228-234.